Environnement Canada
Environment Canada

Qualité des sédiments de fond de la rivière des Outaouais

J.C. Merriman

ÉTUDE Nº 153, COLLECTION DES RAPPORTS TECHNIQUES

DIRECTION GÉNÉRALE DES EAUX INTÉRIEURES ET DES TERRES
DIRECTION DE LA QUALITÉ DES EAUX
RÉGION DE L'ONTARIO
BURLINGTON (ONTARIO) 1987

(Available in English on request)

Publié avec l'autorisation
du ministre de l'Environnement

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1987

Nº de cat. En 36-503/153F

ISBN 0-662-94587-5

Table des matières

	Page
RÉSUMÉ	v
ABSTRACT	v
INTRODUCTION	1
MÉTHODES	1
Métaux à l'état de traces	3
Contaminants organiques	3
Granulométrie	3
RÉSULTATS ET DISCUSSION	4
Métaux à l'état de traces	4
Contaminants organiques	10
SOMMAIRE ET RECOMMANDATIONS	11
REMERCIEMENTS	12
RÉFÉRENCES	12

Tableaux

1. Emplacements des stations	3
2. Distribution granulométrique et teneur en carbone organique	4
3. Concentrations des métaux à l'état de traces	5
4. Données sommaires sur les métaux, l'argile et le carbone organique	7
5. Variation expliquée dans la régression multiple graduelle	10
6. Concentrations excédentaires aux valeurs du MEO pour les déblais de dragage	10
7. Sommaire du dosage des contaminants organiques, limites de détection et fréquence de détection	11
8. Concentrations des contaminants organiques à l'état de traces dosables	12

Illustrations

Figure 1. Transects d'échantillonnage de la rivière des Outaouais	2
Figure 2. Arsenic total par transect (moyenne)	6
Figure 3. Cadmium soluble par transect (moyenne)	6
Figure 4. Plomb soluble par transect (moyenne)	8
Figure 5. Zinc soluble par transect (moyenne)	8

Résumé

En 1982, la Direction de la qualité des eaux, région de l'Ontario, a réalisé une étude des sédiments de fond de la rivière des Outaouais, des sources du lac Témiskamingue jusqu'à Carillon, à la limite de l'Ontario et du Québec. Dans 35 échantillons de sédiments prélevés sur 11 transects, on a dosé divers éléments et contaminants organiques à l'état de traces. L'analyse des métaux montre que les concentrations de ces derniers sont notablement plus élevées aux stations situées en amont de Petawawa qu'aux stations d'aval. Sauf pour le cadmium, les concentrations maximales de tous les éléments ont été observées à Petawawa. Les concentrations d'arsenic, de cadmium, de plomb et de zinc se sont révélées supérieures aux concentrations naturelles ou ambiantes en certains endroits et ont excédé les recommandations du ministère de l'Environnement de l'Ontario qui portent sur l'élimination des déblais de dragage en eau libre.

Les contaminants organiques dosés comprenaient les pesticides organochlorés, les BPC, les chlorobenzènes et les hydrocarbures aromatiques polycycliques. Leur fréquence de détection était de 1.8 %. C'est le 1,3-dichlorobenzène qui a été décelé le plus souvent, au taux de 29 %, et il s'est révélé largement distribué dans l'ensemble de la rivière.

Abstract

In 1982 the Water Quality Branch, Ontario Region, completed a bottom sediment survey of the Ottawa River extending from the headwaters of Lake Timiskaming to Carillon at the Ontario-Quebec border. Thirty-five sediment samples were collected from 11 transects and analyzed for a variety of trace elements and trace organic contaminants. Results of metal analyses indicated that concentrations were significantly higher at stations located upstream from Petawawa, compared to sites downstream. The highest concentrations of all elements except cadmium were at the Petawawa transect. Arsenic, cadmium, lead, and zinc were found to be above background or ambient levels at some locations and exceeded MOE guidelines for open water disposal of dredged material.

Organic contaminants analyzed included organochlorine pesticides, PCBs, chlorobenzenes, and PAHs. The detection frequency for these trace organic contaminants was 1.8%. 1,3-Dichlorobenzene had the highest frequency of detection at 29% and was found to be widely distributed throughout the river.

Qualité des sédiments de fond de la rivière des Outaouais

J.C. Merriman

INTRODUCTION

Le cours interprovincial de la rivière des Outaouais, entre ses sources au lac Témiscamingue jusqu'à Carillon, à la limite de l'Ontario et du Québec, a fait l'objet de plusieurs études sur la qualité de l'eau, dont les premières remontent aux années 1950 (Thomas, 1952; Piché, 1954; Ministère de la Santé de l'Ontario, 1956; Bonk, 1958; Lesauteur, 1965; Commission des ressources en eau de l'Ontario, 1967; Commission des ressources en eau de l'Ontario et Régie des eaux du Québec, 1971). Ces études étaient surtout axées sur les paramètres physiques, chimiques et bactériologiques de la rivière. L'étude conjointe de l'Ontario et du Québec (1971) a produit les données les plus détaillées pour l'ensemble du bassin. Un certain nombre d'années plus tard, Pêches et Environnement Canada (1977) a présenté un rapport semblable, mais qui mettait à jour les données sur la qualité de l'environnement, l'hydrologie et les caractéristiques socio-économiques du bassin.

Au début des années 1970, Oliver et Kinrade (1972) et Oliver et Agemian (1974) ont dosé les métaux lourds présents dans les sédiments de fond de la rivière des Outaouais, prélevés entre Ottawa et Carillon. Une étude approfondie entreprise par l'Université d'Ottawa et le Conseil national de recherches (1977) a permis de déterminer la distribution et le déplacement du mercure dans la rivière, près d'Ottawa. Goulet et Laliberté (1982a) ont étudié les concentrations de métaux dans les sédiments de la rivière des Outaouais et de quelques-uns de ses affluents échantillonnés en 1978. Croteau et coll. (1984b) ont repris l'étude sur les métaux dans les sédiments de fond en 1980.

Le rapport que le Groupe d'étude des contaminants a présenté au Groupe technique de travail fédéral-provincial sur la qualité de l'eau de la rivière des Outaouais (1980) donne un excellent bilan des travaux d'analyse des contaminants organiques à l'état de traces dans l'eau et les poissons. Il reprend les résultats d'études fédérales et de programmes provinciaux de surveillance des poissons qui ont permis de confirmer, pour la première fois, la présence de BPC dans l'écosystème de la rivière des Outaouais.

En 1982, la Direction de la qualité des eaux, région de l'Ontario, a réalisé une étude sur les sédiments de fond de la rivière des Outaouais, entre ses sources au lac Témiscamingue et l'endroit où la rivière pénètre au Québec, à Carillon. Dans les échantillons prélevés, on a dosé une large gamme de métaux et de contaminants organiques à l'état de traces. Ce rapport donne le sommaire des résultats, analyse la distribution spatiale des contaminants dans l'ensemble de la rivière et compare les résultats actuels aux conclusions antérieures.

MÉTHODES

Les échantillons de sédiments de fond ont été prélevés à 35 stations (tableau 1), le long de 11 transects dans la rivière (Figure 1), à l'aide d'un mini-échantillonneur Shipek. La couche supérieure de 3 cm d'épaisseur a éte recueillie, placée dans des contenants de verre et mise sur la glace jusqu'à l'arrivée au laboratoire où elle a été placée dans un congélateur. Les échantillons destinés au dosage des métaux à l'état de traces et à l'analyse granulométrique ont été mis dans des contenants prélavés à l'acide nitrique 10 %; ceux qui sont destinés au dosage des matières organiques à l'état de traces, dans des contenants qui ont été rincés à l'acétone, puis à l'hexane, et placés dans un four chauffé à 130 °C pour la nuit. À la sortie du four, les contenants ont été fermés par des couvercles rincés à l'hexane et dont l'intérieur est revêtu d'aluminium en feuille.

En vue de leur analyse au laboratoire, les échantillons destinés au dosage des métaux à l'état de traces et à l'analyse granulométrique ont été dégelés, lyophilisés, puis délicatement homogénéisés à l'aide d'un mortier et d'un pilon. Les échantillons destinés au dosage des matières organiques à l'état de traces ont été dégelés et analysés à l'état humide.

Une brève description des méthodes analytiques est donnée ci-dessous. Pour plus de détails, consulter le *Manuel des méthodes analytiques* (Environnement Canada, 1986).

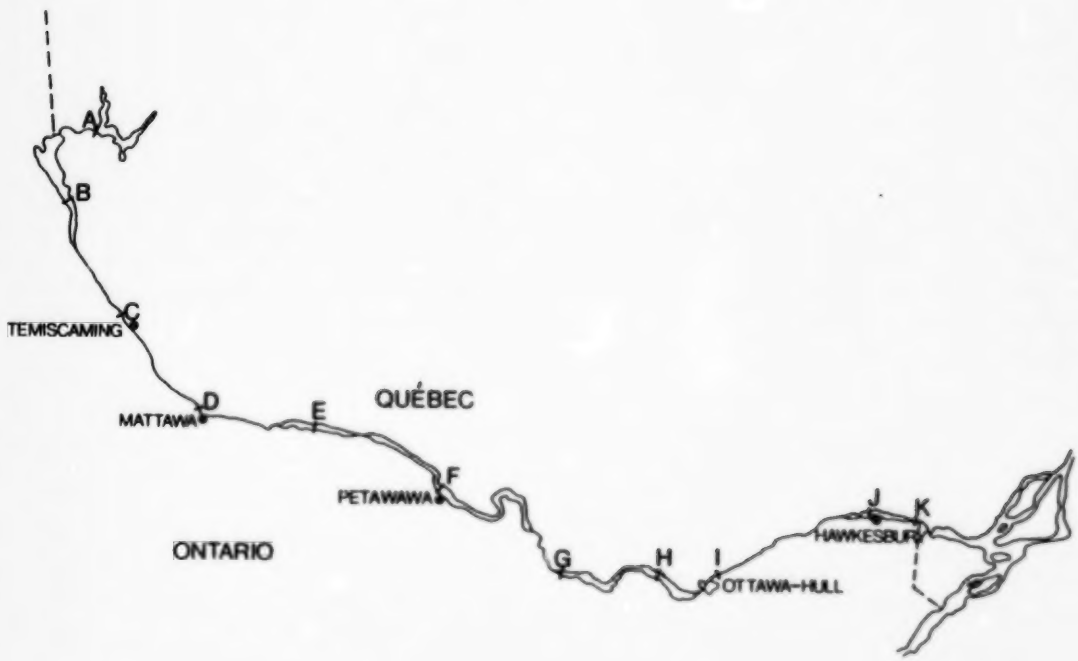

Figure 1. Transects d'échantillonnage de la rivière des Outaouais.

Tableau 1. Emplacements des stations

Station	Latitude	Longitude
A-1	47°35'06"	79°30'00"
A-2	47°35'18"	79°30'00"
B-1	47°16'48"	79°26'36"
B-2	47°16'36"	79°27'06"
B-3	47°16'30"	79°27'30"
C-1	46°44'54"	79°07'24"
C-2	46°44'54"	79°07'36"
C-3	46°44'54"	79°07'48"
D-1	46°23'30"	78°45'30"
D-2	46°23'18"	78°45'48"
D-3	46°23'06"	78°46'06"
E-1	46°15'54"	78°19'06"
E-2	46°15'48"	78°19'12"
E-3	46°15'42"	78°19'24"
E-4	46°15'36"	78°19'30"
F-1	45°56'54"	77°16'30"
F-2	45°56'30"	77°16'48"
F-3	45°56'12"	77°17'06"
F-4	45°55'54"	77°17'30"
F-5	45°55'42"	77°17'48"
G-1	45°31'54"	76°33'42"
G-2	45°31'36"	76°33'48"
G-3	45°31'12"	76°33'54"
H-1	45°28'54"	75°58'54"
H-2	45°28'42"	75°59'06"
H-3	45°28'30"	75°59'12"
I-1	45°29'12"	75°32'54"
I-2	45°29'06"	75°33'00"
I-3	45°29'00"	75°33'06"
J-1	45°38'36"	74°38'42"
J-2	45°38'30"	74°38'06"
K-1	45°34'48"	74°26'12"
K-2	45°34'36"	74°26'36"
K-3	45°34'30"	74°26'54"
K-4	45°34'24"	74°27'06"

Métaux à l'état de traces

On a dosé le cadmium, le cuivre, le chrome, le plomb, le nickel et le zinc solubles, mais, par contre, le total de l'arsenic, du mercure et du sélénium.

Le dosage des métaux solubles s'est fait par l'ajout de 100 mL d'acide chlorhydrique 0.5 N à 10 g de sédiments secs qu'on a fait agiter à la température ambiante durant la nuit. La solution est passée sur un filtre d'acétate de cellulose à ouvertures de 0.45 μm et le filtrat est analysé directement par spectrométrie d'absorption atomique de flamme.

Pour le dosage de l'arsenic et du sélénium, on a minéralisé 1 g de sédiments secs dans un mélange d'acide nitrique, d'acide perchlorique, de persulfate de potassium et d'acide fluorhydrique. Après oxydation et solubilisation des silicates, un système automatisé a permis de doser l'arsenic et le sélénium par réduction et spectrométrie d'absorption atomique en tubes de quartz.

Afin de doser le mercure total, on a minéralisé 1 g de sédiments secs dans un mélange d'acide sulfurique, d'acide nitrique, d'acide chlorhydrique, de permanganate de potassium et de persulfate de potassium. Un mélange de sulfate d'hydroxylamine et de chlorure de sodium en solution est ajouté pour dissoudre le précipité et clarifier la solution. Une prise d'essai est introduite dans un système automatisé qui réduit Hg^{2+} en mercure élémentaire. Ce mercure, chassé de la solution par un courant d'air, traverse une cellule du spectrophotomètre d'absorption atomique où l'absorption est mesurée.

Contaminants organiques

Les contaminants organiques à l'état de traces sont dosés en soumettant 10 g de sédiments homogénéisés à une extraction dans un mélange d'hexane et d'acétone 1:1. L'extrait est filtré, soumis à une séparation en présence d'eau distillée, puis à une extraction par le benzène. Les extraits combinés sont séchés, concentrés et purifiés dans une colonne de chromatographie à perméation sur gel. Une purification supplémentaire, sur colonne de gel de silice, donne deux fractions. Chacune de ces fractions est analysée par chromatographie en phase gazeuse utilisant deux colonnes, l'une garnie et l'autre capillaire.

La teneur en carbone organique des échantillons de sédiments est déterminée par calcination de la prise d'essai à 850 °C: les gaz CO_2, H_2O et N_2 ainsi formés sont séparés par chromatographie et dosés à l'aide d'un catharomètre (détecteur de conductibilité thermique) couplé à un enregistreur et à un intégrateur électronique.

Granulométrie

L'analyse granulométrique des sédiments de fond se fait par la méthode des tamis et du sédimentographe (Duncan et La Haie, 1979). La teneur en gravier, sable, limon et argile s'exprime en pourcentage (tableau 2). Toutes les particules assez grosses pour bloquer le tube d'aspiration du sédimentographe (0.80 mm) sont enlevées. L'échantillon est dispersé dans une solution de Calgon, puis analysé automatiquement par le sédimentographe. Le traitement des résultats est confié au programme informatique SIZDIST en FORTRAN IV (Sandilands et Duncan,

Tableau 2. Distribution granulométrique et teneur en carbone organique (%)

Station	Gravier	Sable	Limon	Argile	Carbone
A-1	0	1.2	49.8	49.0	9.2
A-2	0	7.8	52.5	39.8	7.4
B-1	0	0.4	25.4	74.2	1.1
B-2	0	1.4	27.1	71.5	1.3
B-3	0	3.5	25.9	70.6	1.1
C-1	0	7.5	31.1	61.3	4.8
C-2	0	2.2	22.7	75.2	3.8
C-3	0	12.5	28.6	58.9	2.0
D-1	0	7.4	34.6	58.1	6.7
D-2	0	6.5	30.4	63.1	4.9
D-3	0	2.6	36.8	60.6	4.2
E-1	0	1.2	19.9	78.9	4.6
E-2	0	0.8	18.8	80.5	5.2
E-3	0	0.6	70.4	29.0	4.4
E-4	0	0.3	19.9	79.8	4.9
F-1	0	5.0	30.2	64.8	4.0
F-2	0	3.9	24.3	71.8	4.0
F-3	0	1.4	21.4	77.2	3.9
F-4	0	0.8	21.8	77.4	3.4
F-5	0	10.4	37.0	52.6	1.5
G-1	0	14.7	69.0	16.3	2.0
G-2	0	38.0	45.5	16.5	1.3
G-3	0	5.2	84.4	10.5	2.1
H-1	5.4	16.2	35.5	42.9	1.8
H-2	0	1.0	46.3	52.7	2.8
H-3	0	3.5	48.7	47.8	2.7
I-1	NA	NA	NA	NA	2.5
I-2	0	100.0	0	0	0.8
I-3	0	11.8	28.1	60.2	1.4
J-1	0	16.9	66.1	17.0	2.0
J-2	0	7.6	32.4	60.1	2.7
K-1	0	5.2	64.0	30.8	3.2
K-2	0	3.5	39.8	56.7	2.2
K-3	0	3.7	58.7	37.6	3.1
K-4	0	4.9	48.5	46.6	3.9

NA = non analysé.

1980). Duncan et La Haie (1979) ont décrit la méthode en détail.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Métaux à l'état de traces

Les études des années 1970 sur les sédiments de fond ont fourni de bonnes données générales sur les concentrations de métaux dans certains secteurs de la rivière des Outaouais. À l'exception de celle d'Oliver et Agemian (1974), qui ont donné les concentrations de métaux extractibles, ces études ont porté sur les concentrations totales de métaux dans les sédiments. Il est possible d'en comparer les résultats à ceux de Goulet et Laliberté (1982a) et d'Oliver et Kinrade (1972). Toutefois, la comparaison directe des résultats de cette étude de la Direction de la qualité des eaux aux résultats d'Oliver et Agemian (1974) est inutile

car les méthodes d'analyse sont différentes. La comparaison des concentrations dans cette étude aux concentrations des éléments dans les roches communes et la croûte terrestre selon Hem (1970) et Hawley (1979), révèle que les concentrations d'arsenic, de cadmium, de plomb et de zinc dans les sédiments de fond de la rivière des Outaouais sont supérieures aux concentrations naturelles observées dans certaines localités.

Les concentrations des métaux à l'état de traces sont présentées au tableau 3. Elles sont résumées au tableau 4 où on trouve aussi l'indication, dans chaque cas, des concentrations minimale et maximale, la moyenne et l'écart type.

La distribution des métaux à l'état de traces dans les sédiments de fond de la rivière des Outaouais est relativement uniforme. Dans la plupart des cas, les concentrations étaient plus élevées aux transects d'amont (A à F) qu'à ceux d'aval (G à K), les plus élevées, pour tous les éléments sauf le cadmium, se trouvant au transect F. Les transects d'amont n'ont montré aucune autre tendance particulière.

Tableau 3. Concentrations des métaux à l'état de traces ($mg \cdot kg^{-1}$)

Station	As	Cd	Cr	Cu	Pb	Hg	Ni	Zn
A-1	6.3	1.8	4.6	28.0	21.0	<0.10	8.7	110
A-2	6.7	2.7	3.5	32.0	28.0	<0.10	6.4	99
B-1	25.8	1.8	9.8	19.0	18.0	<0.10	11.0	100
B-2	33.0	2.2	9.5	19.0	21.0	<0.10	11.0	100
B-3	33.6	1.2	9.8	23.0	21.0	<0.10	13.0	110
C-1	46.3	2.1	8.1	34.0	35.0	0.17	12.0	110
C-2	45.7	1.6	8.8	33.0	36.0	0.16	12.0	140
C-3	57.2	1.0	5.4	21.0	21.0	0.11	9.4	77
D-1	13.7	1.4	5.0	31.0	24.0	0.12	7.7	100
D-2	23.3	2.2	7.1	44.0	31.0	0.14	12.0	140
D-3	17.8	2.0	8.4	42.0	37.0	0.14	12.0	140
E-1	27.7	1.6	10.0	38.0	48.0	0.17	14.0	190
E-2	24.3	2.2	11.0	42.0	46.0	0.16	13.0	190
E-3	30.0	2.0	11.0	42.0	51.0	0.15	16.0	200
E-4	26.3	1.7	9.1	37.0	49.0	0.15	12.0	190
F-1	35.8	2.0	8.5	35.0	55.0	0.18	13.0	190
F-2	48.4	1.9	9.5	40.0	65.0	0.19	14.0	190
F-3	96.4	2.2	13.0	47.0	78.0	0.18	20.0	300
F-4	68.6	2.3	11.0	44.0	71.0	0.19	16.0	220
F-5	21.6	0.9	5.0	16.0	26.0	<0.10	7.0	79
G-1	10.8	1.1	4.4	12.0	26.0	<0.10	6.1	100
G-2	7.4	1.1	3.8	9.6	21.0	<0.10	5.4	90
G-3	10.7	1.2	4.4	15.0	50.0	<0.10	6.3	130
H-1	10.5	0.7	5.7	14.0	32.0	<0.10	7.8	95
H-2	13.4	1.2	6.1	19.0	48.0	<0.10	9.1	150
H-3	12.3	1.3	5.7	19.0	56.0	0.11	9.1	150
I-1	2.7	0.3	2.5	7.3	11.0	0.13	2.2	39
I-2	1.7	0.1	0.7	0.9	1.6	<0.10	1.1	12
I-3	3.4	0.4	7.8	19.0	32.0	0.11	7.8	78
J-1	2.1	0.3	2.8	9.2	7.3	<0.10	2.3	46
J-2	4.6	0.6	6.7	17.0	30.0	0.18	5.7	80
K-1	3.9	0.7	6.8	20.0	24.0	0.14	5.4	90
K-2	3.0	0.6	6.5	16.0	21.0	0.12	5.5	81
K-3	4.0	0.8	6.5	20.0	24.0	0.15	5.5	90
K-4	4.2	0.6	6.1	17.0	25.0	0.16	5.7	77

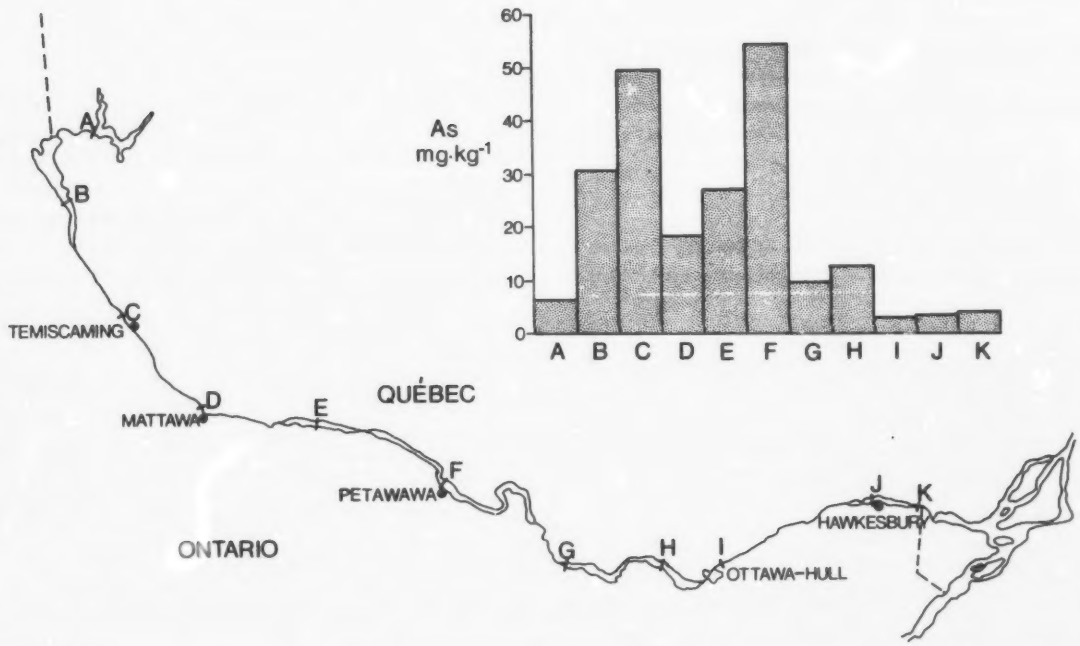

Figure 2. Arsenic total par transect (moyenne).

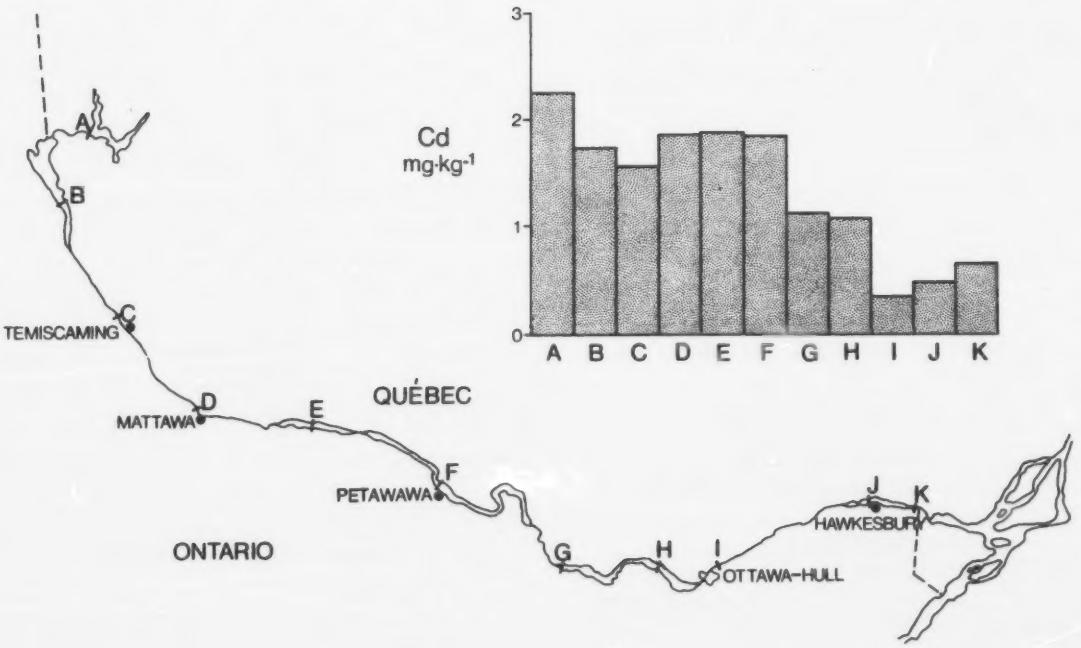

Figure 3. Cadmium soluble (0.5 N HCl) par transect (moyenne).

Les transects d'aval se caractérisent par des concentrations plus faibles et des tendances distinctes : pour tous les métaux, sauf le cadmium, les concentrations moyennes ont augmenté entre G et H, ont baissé à I et augmenté de nouveau entre I et K.

On distingue deux tendances à la hausse de l'arsenic dans les sédiments de fond de la rivière des Outaouais en aval entre les transects A et F (figure 2). Les concentrations variaient entre 6.3 et 96.4 $mg \cdot kg^{-1}$, pour une moyenne de 34.4 $mg \cdot kg^{-1}$ à ces transects d'amont. On remarquait une baisse notable en aval aux transects G à K, où les valeurs s'échelonnaient entre 1.7 et 13.4 $mg \cdot kg^{-1}$, pour une moyenne de 6.3 $mg \cdot kg^{-1}$.

Les concentrations d'arsenic dans les roches ignées et sédimentaires communes sont habituellement inférieures à 13 $mg \cdot kg^{-1}$ (Hawley, 1979). Les concentrations élevées aux transects d'amont sont attribuées aux affluents de la rivière des Outaouais qui traversent les régions minières de Cobalt et de Larder Lake où, selon Hawley (1979), les concentrations moyennes d'arsenic dans les stériles sont de 1245 ppm et de 4275 ppm respectivement. À l'exception de celle de Croteau et coll. (1984), aucune autre étude n'a porté sur l'arsenic des sédiments de fond de la rivière des Outaouais. Les concentrations signalées par Croteau avaient des valeurs inférieures à la limite de détection et montaient jusqu'à 7.3 $mg \cdot kg^{-1}$. Elles se comparent bien aux résultats de la Direction de la qualité des eaux qui se situaient entre 1.7 et 13.4 $mg \cdot kg^{-1}$ dans un secteur comparable de la rivière où l'échantillonnage a eu lieu.

Aux transects A à F (Tableau 3), les concentrations de cadmium dans les sédiments de fond variaient entre 0.9 et 2.7 $mg \cdot kg^{-1}$ avec une moyenne de 1.8 $mg \cdot kg^{-1}$ (tableau 4). En aval, les concentrations des transects se situaient entre 0.1 et 1.3 $mg \cdot kg^{-1}$ (tableau 3) avec une moyenne de 0.7 $mg \cdot kg^{-1}$. Selon les moyennes à chaque transect (figure 3), les concentrations supérieures du cadmium dans la rivière se trouvent aux transects A à F et les concentrations inférieures se trouvent en aval, entre Petawawa et la limite Québec-Ontario.

Tableau 4. Données sommaires sur les métaux, l'argile et le carbone organique

	As	Cd	Cr	Cu	Pb	Hg	Ni	Zn	Argile (%)	Carbone organique (%)
					($mg\ kg^{-1}$)					
Limite de détection	0.025	0.1	0.5	0.1	0.5	0.1	0.1	0.1	0	0.005
	Tous les transects									
Minimum	1.7	0.1	0.7	0.9	1.6	<0.1	1.1	12.0	0	0.8
Maximum	96.4	2.7	13.0	47.0	78.0	0.19	20.0	300.0	80.5	9.2
Moyenne*	22.4	1.4	7.0	25.2	34.0	0.09	9.3	122.4	52.6	3.3
Écart type	21.6	0.7	2.8	12.4	17.7	0.08	4.3	58.4	22.1	1.9
Nbre d'échantillons	35	35	35	35	35	35	35	35	34	35
	Transects d'amont A à F									
Minimum	6.3	0.9	3.5	16.0	18.0	<0.1	6.4	77.0	29.0	1.1
Maximum	96.4	2.7	13.0	47.0	78.0	0.19	20.0	300.0	80.5	9.2
Moyenne*	34.4	1.8	8.4	33.4	39.1	0.11	12.0	149.0	64.7	4.1
Écart type	21.6	0.5	2.5	9.5	18.1	0.08	3.3	58.0	14.0	2.1
Nbre d'échantillons	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	Transects d'aval G à K									
Minimum	1.7	0.1	0.7	0.9	1.6	<0.1	1.1	12.0	0	0.8
Maximum	13.4	1.3	7.8	20.0	56.0	0.18	9.1	150.0	60.2	3.9
Moyenne*	6.3	0.7	5.1	14.3	27.3	0.07	5.7	87.0	35.4	2.3
Écart type	4.1	0.4	2.0	5.5	15.2	0.07	2.4	38.0	20.1	0.8
Nbre d'échantillons	15	15	15	15	15	15	15	15	14	15

*Pour le calcul des moyennes, on a posé égales à zéro les concentrations inférieures à la limite de détection.

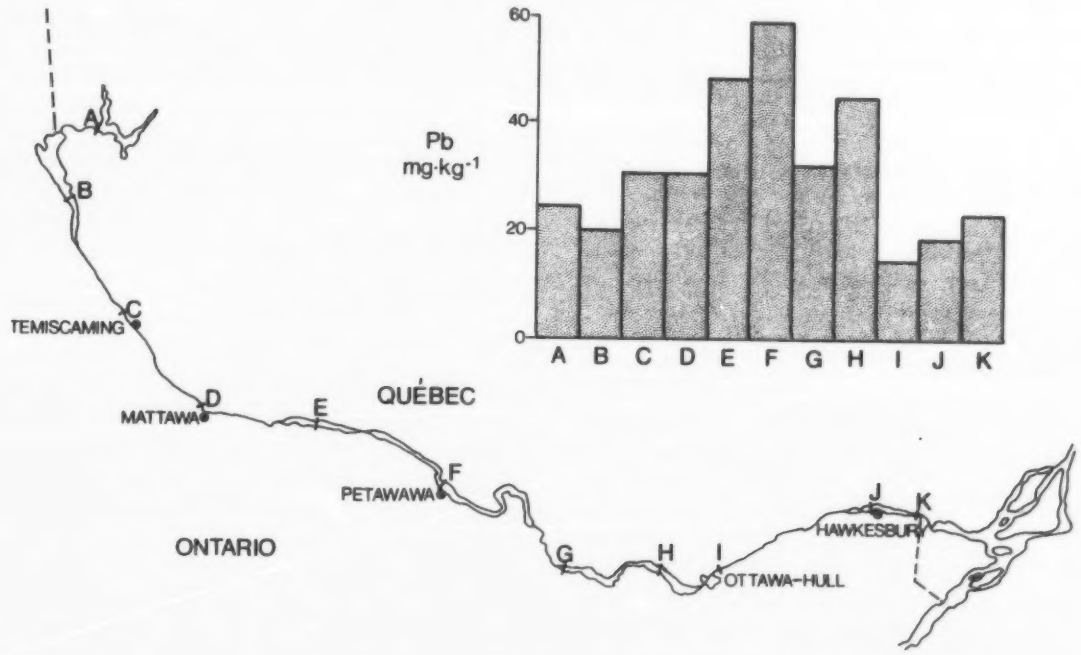

Figure 4. Plomb soluble (0.5 N HCl) par transect (moyenne).

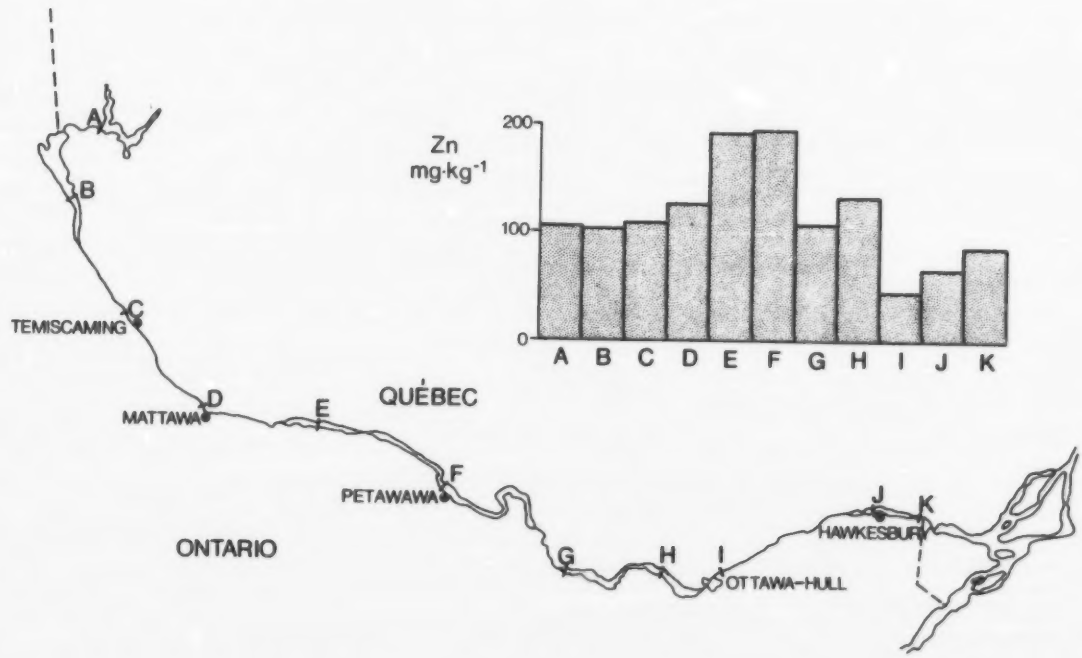

Figure 5. Zinc soluble (0.5 N HCl) par transect (moyenne).

La plus forte concentration de cadmium (2.7 $mg \cdot kg^{-1}$) se trouvait au transect A. Par contre, tous les autres éléments dosés avaient la plus forte concentration au transect F. Les données sur la concentration de cadmium dans les poissons révèlent une tendance semblable : les concentrations les plus élevées se trouvaient en amont du bassin (Goulet et Laliberté, 1982).

La concentration de plomb dans les sédiments de fond de la rivière des Outaouais augmentait entre les transects A et F (figure 4); elle avait la valeur la plus basse (18 $mg \cdot kg^{-1}$) au transect B et la valeur la plus haute (78 $mg \cdot kg^{-1}$) au transect F. En aval, les transects avaient des concentrations qui variaient entre 1.6 $mg \cdot kg^{-1}$ et 56 $mg \cdot kg^{-1}$ (tableau 3). La concentration moyenne était de 39.1 $mg \cdot kg^{-1}$ aux transects d'amont A à F et de 27.3 $mg \cdot kg^{-1}$ à ceux d'aval. Les concentrations de plomb semblaient donc se situer dans la gamme des teneurs naturelles pour le bassin, c'est-à-dire inférieures à 50 $mg \cdot kg^{-1}$ (Hawley, 1979). Toutefois, certains échantillons avaient dépassé cette valeur de 50 $mg \cdot kg^{-1}$.

Les concentrations moyennes de zinc à chaque transect d'aval avaient augmenté entre les transects A et F (figure 5). Dans cette section de la rivière, les concentrations variaient entre 77 $mg \cdot kg^{-1}$ et 300 $mg \cdot kg^{-1}$, pour une moyenne de 149 $mg \cdot kg^{-1}$. En aval, les transects G à K avaient des concentrations plus faibles, situées entre 12 $mg \cdot kg^{-1}$ et 150 $mg \cdot kg^{-1}$ avec une moyenne de 87 $mg \cdot kg^{-1}$. Dans les roches ignées et sédimentaires communes, les concentrations moyennes de zinc étaient inférieures à 150 $mg \cdot kg^{-1}$ (Hawley, 1979). Aux transects E et F, les concentrations élevées montrent que les sédiments dépassent les teneurs naturelles, ce qui indique qu'il y a des sources de zinc aux transects mêmes ou en amont.

Les plus fortes concentrations d'arsenic, de chrome, de cuivre, de plomb, de mercure, de nickel et de zinc se trouvaient à Petawawa (transect F). À défaut de sources locales évidentes dans les parages, il est difficile d'expliquer ce phénomène de fortes teneurs. Très peu d'études hydrologiques ont porté sur la rivière des Outaouais. En aval du lac Témiscamingue jusqu'à Petawawa, il y a trois barrages avec réservoirs. En aval de Petawawa, le premier barrage hydroélectrique se trouve à Cheneaux. L'ampleur de la régulation du débit en vue de la production d'électricité et de la lutte contre les inondations a compliqué l'hydrologie du bassin et peut avoir créé, à la hauteur du transect de Petawawa, une zone de forte sédimentation caractérisée par une forte concentration de métaux dans les sédiments de fond.

Afin d'évaluer davantage les données, les transects ont été subdivisés en deux groupes, ceux de Petawawa vers l'amont et les autres en aval. Ils ont été regroupés de la sorte en raison de la diminution des concentrations en aval de Petawawa. Pour ces données, le test t de Student montrait que les transects d'amont avaient des teneurs ($P < .01$) qui dépassaient celles des transects d'aval pour tous les métaux, sauf le plomb ($P < .05$). L'activité minière dans le bassin, plus particulièrement en amont, constitue pour la rivière une source de métaux. C'est l'un des facteurs déterminants des concentrations élevées qu'on observe dans les transects d'amont.

En amont, les sédiments de fond avaient une concentration d'argile nettement plus élevée ($P < .01$), ce qui serait vraisemblable pour la région du lac Témiscamingue et une certaine distance vers l'aval, vu la zone d'argile présente dans le nord-est de l'Ontario et le nord-ouest du Québec. Dans cette région, l'activité agricole est intense, d'où l'érosion entraîne l'argile dans la rivière des Outaouais et ses affluents.

La concentration de carbone organique était nettement plus élevée ($P < .01$) dans les sédiments de fond aux transects d'amont. En amont d'Arnprior, le bassin de la rivière des Outaouais se trouve dans le Bouclier canadien. Cette région naturelle est caractérisée par des forêts boréales et des terres humides où les teneurs naturelles de carbone organique sont élevées. De plus, les effluents des usines de pâte et papier augmentent les concentrations de carbone organique dans la rivière aux stations d'amont.

Le tableau 4 résume les données sur les concentrations de métaux, d'argile et de carbone organique dans les stations d'amont et d'aval. En amont, l'écart entre les concentrations varie entre 43 % de plus pour le plomb et presque 450 % de plus pour l'arsenic. Dans l'ensemble de la rivière, les concentrations variaient au même transect. Plus particulièrement, le transect de Petawawa avait habituellement les concentrations de métaux les plus fortes, mais la variabilité y était la plus grande. À ce transect, les concentrations avaient tendance à augmenter à partir de la rive québécoise jusqu'au milieu de la rivière, où elles atteignaient un maximum, pour ensuite diminuer considérablement du côté de la rive ontarienne.

L'analyse de régression multiple a servi à évaluer l'incidence de la fraction granulométrique de l'argile, du carbone organique et de la distance vers l'aval sur les concentrations des métaux. On a eu recours à la régression ascendante graduelle où les variables indépendantes ont été considérées selon un ordre déterminé par leur contribution respective à la variance expliquée (Nie, 1975). La régression multiple avait pour but d'évaluer les corrélations entre les trois variables indépendantes et les variables dépendantes, de préciser dans quelle mesure la variation pouvait être

expliquée et de déterminer à quelles variables indépendantes était imputable la variation expliquée. Le tableau 5 énumère les métaux, donne le pourcentage de la variation expliquée et indique quelle variable indépendante. Les variables indépendantes sont énumérées dans l'ordre de sélection déterminé par la variance expliquée. Le mercure est omis vu que dans près de 40 % des échantillons il se trouvait à des concentrations inférieures à la limite de détection.

Tableau 5. Variation expliquée dans le régression multiple graduelle

	Variation expliquée (%)	Variable
Arsenic	34.2	Argile
Cadmium	65.5	Distance, carbone
Chrome	60.4	Argile
Cuivre	66.4	Argile, carbone
Plomb	62.9	Argile, distance, carbone
Nickel	59.3	Argile, distance
Zinc	58.6	Argile, distance

Le pourcentage d'argile était la première variable indépendante considérée dans la régression graduelle, donc la plus reliée à la variance expliquée. Il était également le mieux corrélé à tous les métaux, à l'exception du cadmium pour lequel la distance était le facteur le plus important. En fait, la distance vers l'aval était la deuxième variable qui agissait sur le plomb, le nickel et le zinc, tandis que pour le cadmium, il s'agissait du pourcentage de carbone organique.

Les concentrations de métaux dans les sédiments de fond ont été comparées aux valeurs du ministère de l'Environnement de l'Ontario (MEO) pour les déblais de dragage (Thomas et Mudroch, 1979). Le tableau 6 donne le pourcentage par lequel tous les métaux dosés dépassent ces valeurs ce qui s'est produit à une fréquence relativement élevée (66 % des cas) avec l'arsenic et le cadmium.

Tableau 6. Concentrations excédentaires aux valeurs du MEO pour les déblais de dragage

Paramètre	Valeurs* du MEO ($mg \cdot kg^{-1}$)	Valeurs excédentaires (%)		
		Tous les transects	Amont A à F	Aval G à K
Arsenic	8	66	90	33
Cadmium	1	66	90	33
Chrome	25	0	0	0
Cuivre	25	43	75	0
Plomb	50	17	25	7
Mercure	0.3	0	0	0
Nickel	25	0	0	0
Zinc	100	43	70	20

*Valeurs basées sur les concentrations des métaux totaux.

Le cuivre et le zinc ont excédé les valeurs du MEO dans 43 % des cas; le plomb, dans 17 % des cas. Les concentrations de chrome, de mercure et de nickel étaient inférieures aux valeurs du MEO.

Les concentrations excédentaires aux valeurs du MEO sont regroupées selon les transects des stations d'amont ou d'aval. La fréquence élevée des valeurs excédentaires en amont (tableau 6) indique que les concentrations d'éléments dans les sédiments de fond à ces stations sont plus fortes (tableau 3).

Contaminants organiques

On a dosé toute une gamme de contaminants organiques, notamment les pesticides organochlorés, les BPC totaux, les chlorobenzènes et les hydrocarbures aromatiques polycycliques. Le tableau 7 énumère tous les contaminants dosés en en précisant la limite et la fréquence de détection. À toutes les stations, la fréquence globale de détection pour les paramètres était de 1,8 % seulement, ce qui signifie que les sédiments de fond de la rivière des Outaouais sont relativement peu contaminés par les matières organiques à l'état de traces dosées.

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques étaient presque absents des sédiments de fond, un seul échantillon recelant une concentration supérieure à la limite de détection (tableau 8). Les concentrations décelables de pesticides organochlorés ont été peu nombreuses. Le p,p'-DDE, produit de dégradation du p,p'-DDT, a été décelé quatre fois. En dehors du DDE, le p,p'-TDE a été décelé une seule fois. Les résultats sont comparables à ceux de Paul et coll. (1984) dont la recherche indique que le DDT et ses métabolites sont indécelables dans les sédiments de fond de la rivière des Outaouais.

Dans tous les échantillons prélevés, les concentrations de BPC étaient inférieures à la limite de détection de 90 $\mu g \cdot kg^{-1}$. Dans leurs analyses de la rivière datant de 1980, Croteau et coll. (1984a) ont montré que les concentrations des BPC dans les sédiments de fond variaient de 28 $\mu g \cdot kg^{-1}$, (Templeton) à 80 $\mu g \cdot kg^{-1}$ (Thurso). Les études de Merriman et McCrea (1985) ont révélé la présence des BPC dans les eaux de la rivière des Outaouais. D'après Goulet et Laliberté (1982b), Croteau et coll. (1984a) et le Groupe d'étude des contaminants (1980) on trouve des BPC dans le poisson de la rivière des Outaouais.

Les contaminants fréquemment décelés étaient les chlorobenzènes. Les concentrations du 1,3-dichlorobenzène variaient entre une valeur inférieure à la limite de détection de 50 $\mu g \cdot kg^{-1}$ et un maximum de 110 $\mu g \cdot kg^{-1}$. Le 1,3-dichlorobenzène a été décelé dans près de 30 % des échantil-

lons (tableau 7) et semblait être présent uniformément dans l'ensemble de la rivière. Le 1,4-dichlorobenzène et le 1,2-dichlorobenzène ont été décelés, mais dans cinq échantillons seulement, en aval d'Ottawa. Les trichlorobenzènes ont été décelés trois fois au transect E; le tétrachlorobenzène et le pentachlorobenzène ont été décelés une fois, tandis que l'hexachlorobenzène n'a pas été décelé.

SOMMAIRE ET RECOMMANDATIONS

Les sédiments de fond de la rivière des Outaouais se sont révélés modérément contaminés par les métaux et relativement exempts de contaminants organiques à l'état de traces. Les concentrations des métaux à l'état de traces variaient géographiquement, les plus fortes se trouvant

Tableau 7. Sommaire du dosage des contaminants organiques, limites de détection et fréquence de détection

	Limite de détection ($mg \cdot kg^{-1}$)	Nbre d'échantillons	Nbre de détections	Fréquence des détections (%)
Pesticides organochlorés et BPC				
p,p'-DDT	0.004	35	0	0
o,p'-DDT	0.004	35	0	0
p,p'-TDE	0.004	35	1	3
p,p'-DDE	0.004	35	4	11
p,p'-méthoxychlore	0.004	35	0	0
Heptachlore	0.004	35	0	0
Heptachlore-époxyde	0.004	35	0	0
α-endosulfan	0.004	35	0	0
β-endosulfan	0.004	35	0	0
α-chlordane	0.004	35	0	0
γ-chlordane	0.004	35	0	0
γ-BHC (lindane)	0.004	35	0	0
α-BHC	0.004	35	0	0
Mirex	0.004	35	0	0
Aldrine	0.004	35	0	0
Endrine	0.004	35	0	0
HEOD (dieldrine)	0.004	35	0	0
BPC totaux	0.09	35	0	0
Chlorobenzènes				
1,3-dichlorobenzène	0.050	35	10	29
1,4-dichlorobenzène	0.050	35	2	6
1,2-dichlorobenzène	0.050	35	3	9
1,3,5-trichlorobenzène	0.005	35	0	0
1,2,4-trichlorobenzène	0.005	35	2	6
1,2,3-trichlorobenzène	0.005	35	1	3
1,2,4,5-tétrachlorobenzène	0.005	35	0	0
1,2,3,5-tétrachlorobenzène	0.005	35	0	0
1,2,3,4-tétrachlorobenzène	0.005	35	1	3
Pentachlorobenzène	0.005	35	1	3
Hexachlorobenzène	0.004	35	0	0
Hydrocarbures aromatiques polycycliques				
Indène	0.050	35	0	0
1,2,3,4-tétrahydronaphtalène	0.050	35	0	0
2-méthylnaphtalène	0.050	35	0	0
Quinoline	0.050	35	0	0
1-méthylnaphtalène	0.050	35	0	0
β-chloronaphtalène	0.050	35	0	0
Acénaphtalene	0.050	35	0	0
Fluorène	0.050	35	0	0
Phénanthrène	0.050	35	0	0
Fluoranthène	0.050	35	1	3
Pyrène	0.050	35	0	0

Tableau 8. Concentrations des contaminants organiques à l'état de traces dosables ($mg \cdot kg^{-1}$)

Paramètre	Station	Concentration
p,p'-DDE	F-2	0.004
	F-4	0.009
	F-5	0.010
	I-3	0.005
p,p'-TDE	F-5	0.011
1,3-dichlorobenzène	A-1	0.055
	B-2	0.062
	D-2	0.058
	F-3	0.073
	F-4	0.058
	F-5	0.110
	I-3	0.066
	J-2	0.054
	K-1	0.059
	K-2	0.054
1,4-dichlorobenzène	I-1	0.050
	I-2	0.086
1,2-dichlorobenzène	I-1	0.054
	K-1	0.064
	K-2	0.050
1,2,4-trichlorobenzène	E-2	0.007
	E-3	0.014
1,2,3-trichlorobenzène	E-3	0.010
1,2,3,4-tétrachlorobenzène	E-1	0.007
Pentachlorobenzène	A-2	0.011
Fluoranthène	I-3	0.120

habituellement au transect de Petawawa. La complexité des caractéristiques hydrologiques de la rivière, vu ses nombreux barrages et réservoirs, peut être un facteur qui expliquerait les concentrations élevées à ce transect, étant donné l'absence de sources locales de contamination. L'analyse de régression multiple a montré que les concentrations des métaux étaient nettement corrélées avec la fraction granulométrique de l'argile dont le pourcentage relatif était élevé à cet endroit.

L'arsenic, le cadmium, le cuivre et le zinc sont les quatre métaux qui ont le plus souvent dépassé les valeurs du MEO concernant l'élimination des déblais de dragage en eau libre. Il faut étudier davantage le devenir et les effets de l'arsenic et du cadmium sur l'écosystème aquatique.

Les contaminants organiques à l'état de traces ne semblent pas poser de problèmes dans le cas des sédiments de fond. Il faut toutefois déterminer les sources du 1,3-dichlorobenzène qui est largement utilisé par les secteurs industriel et agricole et dont la fréquence de détection est de 29 %.

Il est recommandé d'étudier en détail les sources locales municipales et industrielles afin de déterminer les quantités et les sources des métaux et des matières organiques rejetés dans la rivière des Outaouais.

REMERCIEMENTS

L'auteur tient à remercier Aline Sylvestre et Eric Tozer de l'avoir aidé dans l'échantillonnage, le Laboratoire national de la qualité des eaux d'avoir effectué l'analyse chimique des sédiments et George Duncan d'avoir fait l'analyse granulométrique des échantillons.

RÉFÉRENCES

Bonk, S. 1958. Report on pollution of the Ottawa River between Deschenes Rapids and Cumberland Ferry. Ville d'Ottawa Water Works Department, Ottawa (Ontario).

Commission des ressources en eau de l'Ontario. 1967. Water Quality survey of the Ottawa River. Toronto (Ontario).

Commission des ressources en eau de l'Ontario et Régie des eaux du Québec. 1971. Bassin de la rivière Outaouais : relevé de la qualité de l'eau du bassin de la rivière Outaouais. Vol. 1.

Croteau, G., M. Goulet, et D. Laliberté. 1984a. Biphényles polychlorés: contamination du milieu aquatique au Québec méridional en 1980. Ministère de l'Environnement, Service de la qualité des eaux. Doc. de travail 84-17. Québec.

Croteau, G., M. Goulet, et D. Laliberté. 1984b. Contamination du milieu aquatique au Québec méridional en 1980: arsenic, cadmium, chrome, cuivre, mercure, nickel, plomb, zinc. Ministère de l'Environnement, Service de la qualité des eaux. Doc. de travail 84-18. Québec.

Duncan, G.A., et G.G. La Haie. 1979. Size analysis procedures used in the sedimentology laboratory. National Water Research Institute, Hydraulics Division, Burlington, Ont.

Environnement Canada. 1986. *Manuel des méthodes analytiques*. Direction générale des eaux intérieures. Direction de la qualité des eaux, Ottawa (Ontario).

Goulet, M., et D. Laliberté. 1982a. Métaux: contamination du milieu aquatique au Québec méridional. Ministère de l'Environnement, Service de la qualité des eaux. Doc. de travail Q.E.-51. Québec.

Goulet, M., et D. Laliberté. 1982b. BPC: contamination du milieu aquatique au Québec méridional. Ministère de l'Environnement, Service de la qualité des eaux. Doc. de travail Q.E.-53. Québec.

Groupe d'étude des contaminants. 1980. Rapport du Groupe d'étude des contaminants du Groupe technique de travail fédéral-provincial sur la qualité de l'eau de la rivière des Outaouais. Ottawa (Ontario).

Hawley, J.R. 1979. The chemical characteristics of mineral tailings in the Province of Ontario. Ministère de l'Environnement de l'Ontario. Direction de la gestion des déchets, Toronto (Ontario).

Hem, J.D. 1970. Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. U.S. Department of Interior, Geological Survey Water Supply Paper 1473, Washington, D.C.

Lesauteur, T. 1965. Rapport sur l'état des eaux de la rivière des Outaouais. Cahiers nos 1 et 2. Régie des eaux du Québec, Québec.

Merriman, J.C., et R.C. McCrea. 1985. Les contaminants organiques à l'état de traces dans la rivière des Outaouais dans la région de la capitale nationale en 1980. Étude no 136, Collection des rapports techniques. Direction de la qualité des eaux, région de l'Ontario, Direction générale des eaux intérieures, Environnement Canada, Burlington (Ontario).

Ministère de la Santé de l'Ontario. 1956. Report on Ottawa River and tributaries. Toronto (Ontario).

Nie, N.H. 1975. SPSS: Statistical Package for the Social Sciences. New York: McGraw-Hill Book Company.

Oliver, B.G., et J. Kinrade. 1972. Heavy metal concentrations in Ottawa River and Rideau River sediments. Étude no 14, Direction de la qualité des eaux intérieures, Ministère de l'environnement, Ottawa (Ontario).

Oliver, B.G., et H. Agemian. 1974. Étude complémentaire des concentrations en métaux lourds dans les sédiments des rivières des Outaouais et Rideau. Étude no 37, Série scientifique, Direction de la qualité des eaux, Direction générale des eaux intérieures, Environnement Canada, Ottawa (Ontario).

Paul, M., D. Laliberté, et M. Goulet. 1984. Réseau de surveillance des substances toxiques en 1980: pesticides organochlorés dans le milieu aquatique au Québec méridional. Ministère de l'Environnement, Direction des relevés aquatiques. Doc. de travail 84-20. Québec.

Pêches et Environnement Canada. 1977. Documentaire sur le bassin de la rivière des Outaouais. Service de la gestion de l'environnement. Québec (Québec).

Piché, L. 1954. Rapport sur la pollution de la rivière Ottawa et de ses principaux tributaires entre Ottawa-Hull et l'île de Montréal. Ligue anti-pollution de Québec, Montréal (Québec).

Sandilands, R.G., et G.A. Duncan. 1980. SIZDIST-A computer program for size analysis. Institut national de recherche sur les eaux. Division de l'hydraulique. Technical Note, Rep. No. 80-08, Burlington (Ontario).

Thomas, J.F.J. 1952. Industrial water resources of Canada. Water survey report No. 2. Ottawa River drainage basin. Ministère des Mines et des Relevés techniques, Ottawa (Ontario).

Thomas, R.L., et A. Mudroch. 1979. Small craft harbours—Sediment survey, Lakes Ontario, Erie and Lake St. Clair, 1978, Dredging summary and protocol. Report to the Great Lakes Biolimnology Laboratory, Burlington (Ontario).

Université d'Ottawa et Conseil national de recherches. 1977. Distribution and transport of pollutants in flowing ecosystems, Vol. I & II. Ottawa (Ontario).